

Vorhaben im Rahmen der Fördermaßnahme
KMU-innovativ: Energieeffizienz und Klimaschutz

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Vorhabensbeschreibung zum Verbundprojekt Klimaschutz: Hardwarebasiertes und mobiles bildgebendes
Druckluft-Leckage-Ortungssystem für Industrieanwendungen (HarLeckIn)

Projektpartner:



CS Instruments GmbH & Co. KG
Gewerbehof 14, D-24955 Harrislee

Teilprojekt 1: Methodenentwicklung für zuverlässige
arraybasierte Leckageratenschätzung



Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V.
Volmerstraße 3, D-12489 Berlin-Adlershof

Teilprojekt 2: Hochauflösende Arraysignalverarbeitungs-
algorithmen im Embedded System

Sachbericht zum Verwendungsnachweis
Teil 2 - Eingehende Darstellung

ZE: CS INSTRUMENTS GmbH & Co. KG

Förderkennzeichen: 01LY2211A

Vorhabenbezeichnung: KMU-innovativ – Verbundprojekt
Klimaschutz: Hardwarebasiertes und mobiles bildgebendes Druckluft-
Leckage-Ortungssystem für Industrieranwendungen (HarLeckIn) -
Teilprojekt 1: Methodenentwicklung für zuverlässige arraybasierte
Leckageratenschätzung stehen.

Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2023 - 31.03.2025 (24 Monate)

Berichtszeitraum: 01.04.2023 – 31.03.2025

1. Darstellung der durchgeführten Arbeiten im Vergleich mit der ursprünglichen Vorhabenbeschreibung.

Die im Rahmen des Vorhabens „HarLeckIn“ von CS Instruments durchgeführten Arbeiten folgten im Wesentlichen den in der Vorhabenbeschreibung definierten Arbeitspaketen. Während die GFal die algorithmische Entwicklung und Portierung des Power-Beamforming-Ansatzes übernahm, lag der Schwerpunkt von CS Instruments auf der **Systemintegration, der mechanischen und elektronischen Umsetzung, der Software-Infrastruktur sowie der HMI-Entwicklung**. Nachfolgend werden die Arbeitspakete im Vergleich zur ursprünglichen Planung dargestellt und bewertet.

Phase I – Konzeption und Grundlagen (CS1–CS3)

Arbeitspaket CS1 – Anforderungsanalyse geräteseitig

Planung: Durchführung einer detaillierten Anforderungsanalyse auf Basis von Markt- und Wettbewerbsrecherchen. Neben etablierten einkanaligen Geräten (z. B. LD 500) sollten auch neue Produkte wie akustische Kameras betrachtet werden. Einbeziehung der Rückmeldungen von professionellen Anwendern des LD 500. Erstellung eines Lastenhefts mit Muss- und Kann-Anforderungen.

Realisierung: Das Arbeitspaket wurde planmäßig umgesetzt. Neben einer umfassenden **Wettbewerbsanalyse** wurden die Erfahrungen mit dem LD 500 systematisch ausgewertet und in die Anforderungsdefinition eingebracht. Interviews mit Dienstleistern bestätigten den Bedarf nach höherer Benutzerfreundlichkeit, schnelleren Messergebnissen und dokumentationsfähigen Lösungen. Auf dieser Basis entstand ein **Lastenheft**, das als Grundlage für alle weiteren Arbeitspakete diente und kontinuierlich fortgeschrieben wurde.

Arbeitspaket CS2 – Definition Systemeigenschaften

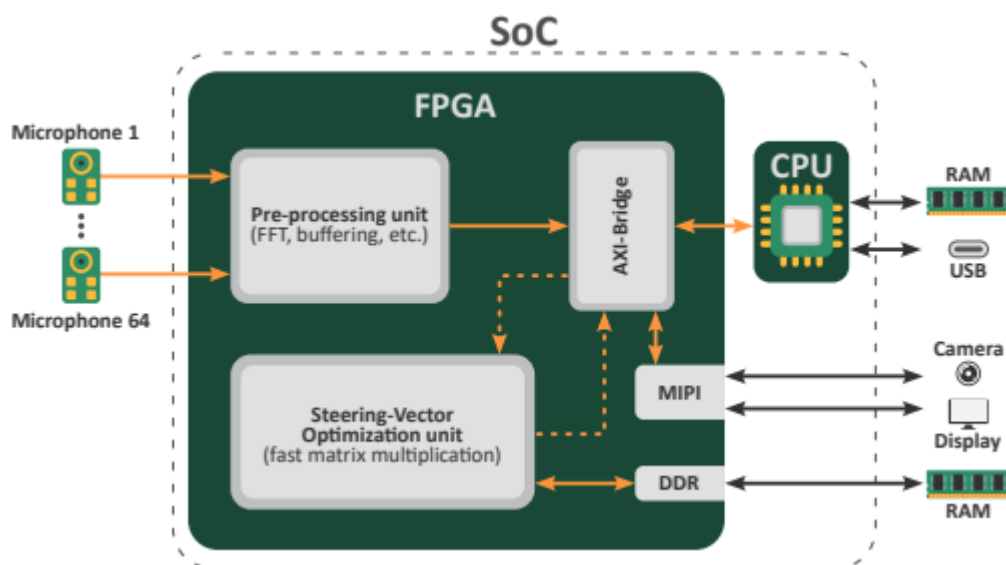
Planung: Präzisierung der technischen und funktionalen Systemeigenschaften. Identifikation möglicher Zielkonflikte und deren Lösung. Erstellung eines Pflichtenhefts inkl. Szenarien für Fehlersituationen.

Realisierung: In enger Zusammenarbeit mit GFal wurden die **mechanischen und softwareseitigen Schnittstellen definiert**. Hierbei wurden sowohl die Integration des Arrays (20 cm) als auch Display, Akku und Sensorik (Laserabstandsmesser, Kamera) spezifiziert. Es wurden verschiedene Szenarien zur Risikominimierung entwickelt, z. B. für den Fall, dass die Echtzeitfähigkeit der Algorithmen nicht erreichbar sein sollte. Als Ergebnis lag ein **Pflichtenheft** mit klaren Spezifikationen und definierten Ausweichstrategien vor.

Arbeitspaket CS3 – Vorauswahl Hardwareplattform

Planung: Bewertung verschiedener SoC-Plattformen in Bezug auf Schnittstellen (Kamera, Display, Entfernungsmesser), RAM-Bedarf und Rechenleistung. Auswahl einer geeigneten Plattform in Abstimmung mit GFal.

Realisierung: Das Arbeitspaket wurde erfolgreich umgesetzt. In enger Abstimmung mit GFal fiel die Wahl auf eine **Xilinx-SoC-Plattform**, die sowohl CPU- als auch FPGA-Ressourcen integriert und damit die hohen Datenraten von Audio- und Videosignalen unterstützt. Die Plattform erwies sich als skalierbar und zukunftssicher. Damit wurde die Basis für alle späteren Entwicklungen geschaffen.



Phase II – Geräteentwicklung (CS5, CS6, CS7, CS8)

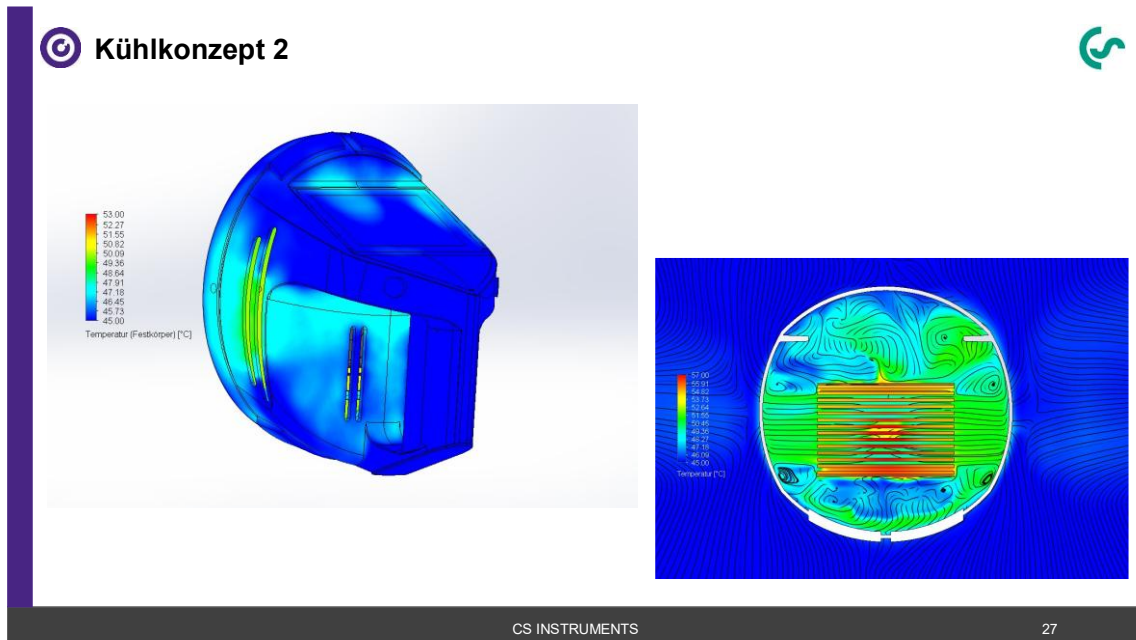
Arbeitspaket CS5 – Gehäuseentwurf für Demonstrator

Planung: Entwicklung eines robusten, ergonomischen und industrietauglichen Gehäuses, das das 20 cm-Array, ein 5-Zoll-Display sowie einen wechselbaren Akku aufnehmen kann. Erste Muster sollten im 3D-Druck entstehen, bevor die Serienfertigung im Spritzgussverfahren angegangen wird.

Realisierung: Das Arbeitspaket wurde planmäßig umgesetzt. In enger Abstimmung mit der GFal entstand ein Gehäuse, das alle Kernkomponenten aufnimmt. Mehrere Versionen von Prototypen wurden zunächst im 3D-Druck gefertigt, um Funktionalität und Ergonomie zu testen. Zudem konnte mit **Einhell** ein Partner für die Akkutechnologie gewonnen werden, um eine zuverlässige Energieversorgung zu gewährleisten.

Zur Bewertung des Kühlkonzepts wurde eine thermische Simulation durchgeführt. Ziel war es, ein erstes Verständnis für die Temperaturverteilung und die Wirksamkeit der geplanten Kühlmaßnahmen zu erhalten. Da der eingesetzte SoC eine sehr hohe Rechenleistung aufweist, entsteht eine erhebliche

Wärmeentwicklung, die aktiv abgeführt werden muss. Aus diesem Grund wurde ein Kühlkörper speziell auf die Geometrie und die Verlustleistung des SoC ausgelegt, um eine stabile Betriebstemperatur sicherzustellen.

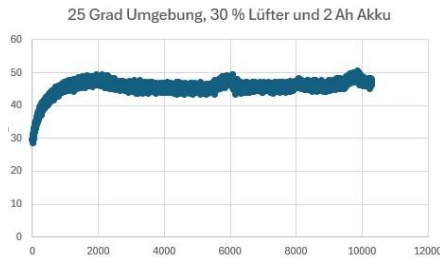


Dafür wurden verschiedene Kühlkörper-Konzepte in den Prototypen getestet, um eine optimale Wärmeabfuhr sicherzustellen. Die Auslegung erfolgte so, dass das Gerät selbst bei einer Umgebungstemperatur von 45 °C nicht überhitzt und eine stabile Funktion gewährleistet bleibt.

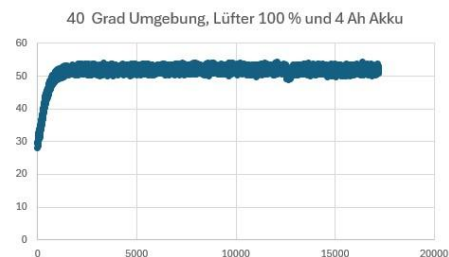


In den Messungen ist die CPU-Temperatur dargestellt. Dabei zeigte sich, dass die Temperaturen im Testfall unnötig niedrig ausfielen. Auf Basis dieser Erkenntnis konnte der Kühlkörper verkleinert werden. Dies hat gleich mehrere Vorteile: Zum einen verbessert es die Ergonomie des Geräts, zum anderen wirkt sich die kompaktere Bauform positiv auf die Falltests aus.

🎯 Lüfter 30 % und Temperatur an der CPU



2 Ah = Ca. 10.000 Sekunden
Ca. 2 Stunden und 46 Minuten



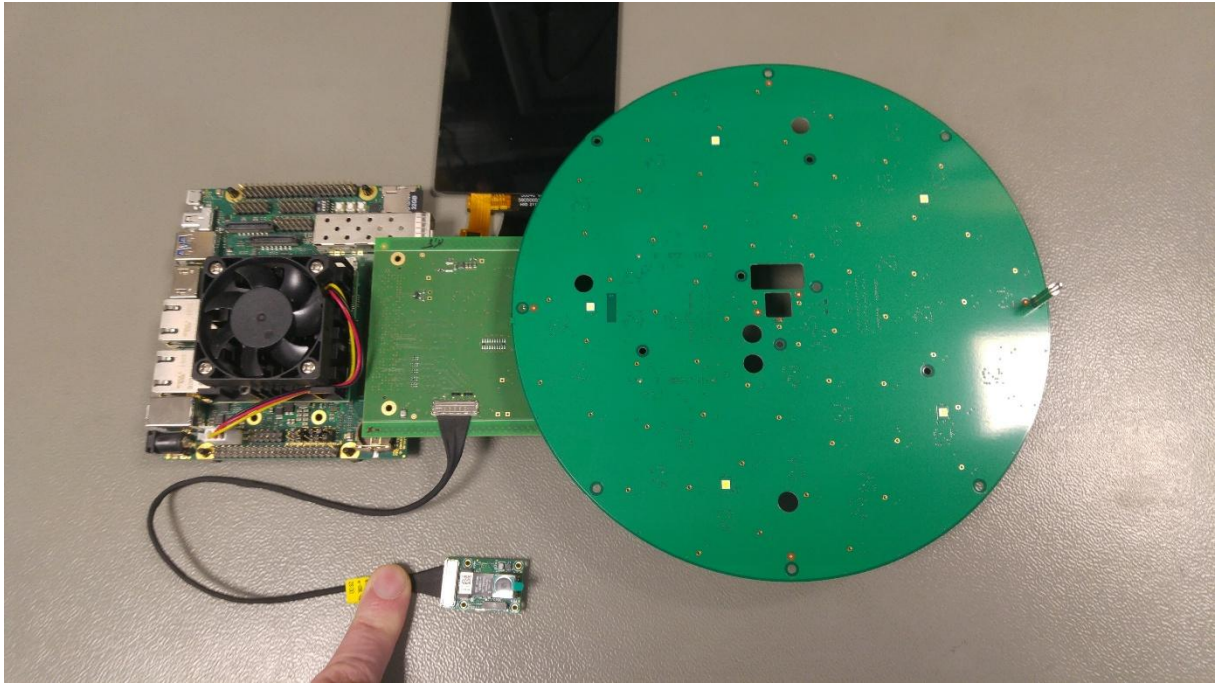
4 Ah =
Ca. 17.000 Sekunden
Ca. 4 Stunden und 43 Minuten

Das finale Kühlkonzept stellt sicher, dass das Gerät selbst bei hohen Umgebungstemperaturen von bis zu 45 °C zuverlässig betrieben werden kann, ohne dass es aufgrund von Überhitzung zu einem automatischen Abschalten kommt. Durch die gezielte Optimierung und Verkleinerung des Kühlkörpers konnte zudem das Gesamtgewicht deutlich reduziert werden, was sowohl die Ergonomie als auch die Alltagstauglichkeit des Geräts spürbar verbessert.

Arbeitspaket CS6 – Software-Infrastruktur

Planung: Aufbau einer stabilen Software-Basis für die Integration von Treibern (Kamera, Display, Laserabstandsmodul), Bootprozess, Speicherverwaltung und Sicherheitskonzept.

Realisierung: Die Umsetzung erwies sich als deutlich komplexer als geplant. Grund dafür war die Integration **des Cross-Platform Frameworks** auf einer speziellen Embedded-Plattform (Xilinx SoC, Mali-400 GPU). Herausforderungen bestanden insbesondere bei der Einbindung der Kamera über die MIPI-Schnittstelle und bei der Performance von Alphablending-Prozessen. Nach umfangreichen Anpassungen und Treiberoptimierungen konnte das Arbeitspaket vollständig abgeschlossen werden. Die Infrastruktur (u-boot, Kernel, Device Tree, Treiber) ist stabil verfügbar und bildet die Grundlage für HMI und Business-Logic.

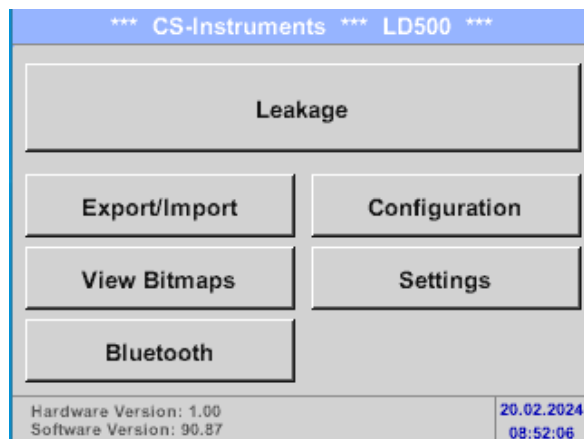


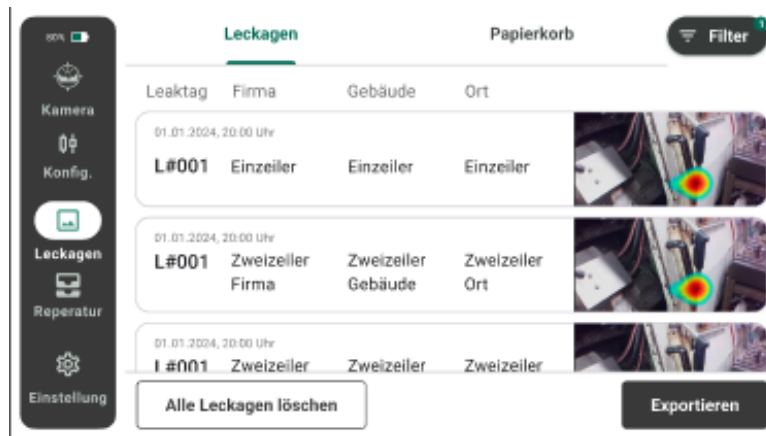
Arbeitspaket CS7 – Entwurf der Nutzerschnittstelle (HMI)

Planung: Entwicklung einer modernen und intuitiven Benutzeroberfläche, die eine effiziente Leckagesuche, Dokumentation und Export ermöglicht.

Realisierung: Die GUI wurde mit **einem Cross-Platform Framework** umgesetzt und in enger Abstimmung mit Nutzern iterativ weiterentwickelt. Funktionen wie virtuelle Tastatur, Menüführung, Exportfunktionen und Benutzerlogik sind vollständig integriert. Damit gilt das Arbeitspaket als abgeschlossen.

Beim neuen Bedienkonzept wurde die bewährte Struktur des LD 500 übernommen und in ein modernes, State-of-the-Art User Interface überführt.





Dadurch erfüllt das Gerät die hohen Anforderungen der Anwender an Übersichtlichkeit, Bedienkomfort und Effizienz. Das Design orientiert sich an aktuellen Standards mobiler Endgeräte und bewegt sich damit auf Smartphone-Niveau – intuitiv, klar strukturiert und für den täglichen Einsatz optimal geeignet.

Arbeitspaket CS8 – Bildüberlagerung (Optik + Akustikkarten)

Planung: Flüssige Darstellung der Überlagerung des optischen Bildes der Kamera mit den berechneten akustischen Karten.

Realisierung: Ein wesentliches Problem im Entwicklungsprozess war die flüssige Darstellung des überlagerten Streams (Kamera + Ultraschallkarten). Dieses Thema erwies sich als deutlich komplexer und aufwändiger als ursprünglich angenommen – insbesondere aufgrund der exotischen Kombination aus Petalinux und spezieller SoC-Hardware mit einer sehr alten Grafikkarte.

In der ersten Realisierung konnten beide Streams zunächst erfolgreich integriert und einzeln flüssig dargestellt werden. Die Schwierigkeiten traten beim **Alpha Blending** auf: Sobald die Streams überlagert wurden, sank die Bildrate auf unter 10 FPS. Verantwortlich hierfür war nicht die GPU-Leistung, sondern die Implementierung des **DRM (Direct Rendering Manager)**.

Der dafür verantwortliche Flaschenhals konnte behoben werden, so dass beide Videostream nun flüssig überlagert werden können. Der aktuelle Fertigstellungsgrad dieses Arbeitspakets beträgt 99%, da hier theoretisch immer weiter optimiert werden kann.



Phase III – Demonstratoren (CS9, CS12)

Arbeitspakete CS9 & CS12 – Demonstrator Revision I & II

Planung: Entwicklung zweier Demonstratorstufen, zunächst auf Basis von 3D-gedruckten Gehäusen (Revision I), anschließend in seriennaher Spritzgussausführung (Revision II).

Realisierung: Beide Demonstratoren wurden erfolgreich erstellt. Revision I diente als funktionsfähiges Testsystem, während Revision II bereits alle Anforderungen an Stabilität, EMV und Ergonomie erfüllte. Die **EMV-Prüfung** wurde nach drei Iterationen bestanden, womit die Hardware als stabil und praxistauglich bewertet werden konnte.



5" Touchscreen-Display
1280 x 720 Pixel für präzise
Leckagelokalisierung

Kostenquantifizierung
Identifiziert kritische Lecks für eine
effiziente Ressourcenzuweisung
und Einsparungen

Griff für Einhandbedienung
So bleibt die andere Hand für den
Touchscreen

18 V Einhell Power X-Change
Zwei Akkus mit externem Ladegerät
für bis zu 8 Stunden Laufzeit



64 MEMS-Mikrofone (2 kHz – 80 kHz)
Erkennt kleinere Leckagen
aus bis zu 10 Metern Entfernung

13-Megapixel-Kamera
Hochauflösende Bilder für eine
eindeutige Leckagedokumentation

Laser-Distanzmodul
Präzise Ultraschallfokussierung und
Leckratenschätzung

5 LEDs und Umgebungslichtsensor
Verbessert die Bildqualität in dunklen
Umgebungen

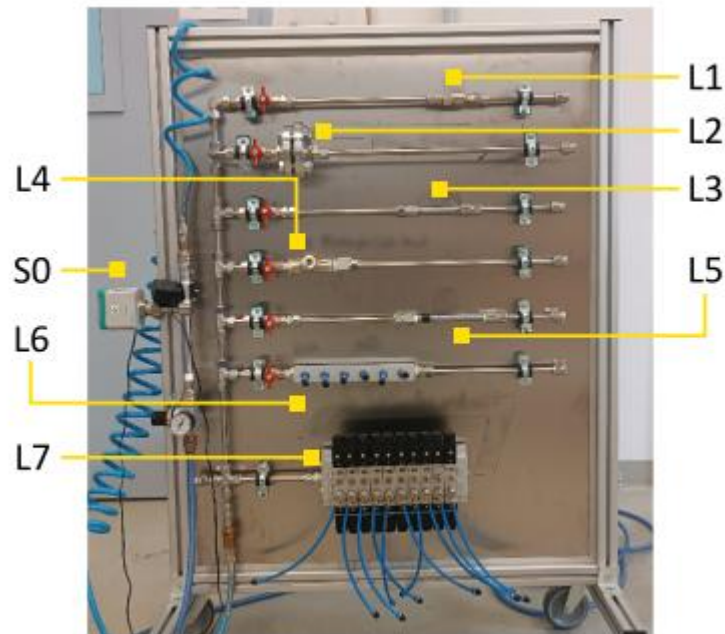
Phase IV – Validierung und Optimierung (CS10, CS11)

Arbeitspaket CS10 – Modellierung von Leckagen

Planung: Aufbau einer Testumgebung zur Simulation und Modellierung von Druckluftleckagen.

Realisierung: CS Instruments entwickelte eine realitätsnahe Teststrecke mit unterschiedlichen Leckagetypen und -größen. Mit dem Demonstrator wurden **Rohdaten für verschiedene Leckagen bei unterschiedlichen Abständen und Drücken** erfasst. Dadurch konnten die Eigenschaften des Ultraschalls in **verschiedenen Frequenzbereichen** systematisch untersucht werden. Die so gewonnenen Daten bilden eine belastbare Grundlage für die spätere Quantifizierung. Das Arbeitspaket konnte vollständig abgeschlossen werden.

- L1 – defekte Schnellkupplung
- L2 – Leckage an einer Flanschverbindung
- L3 – zwei undichte Leitungsverschraubungen
- L4 – defekte Endkappe an einer T-Verbindung
- L5 – mehrfach beschädigter Leitungsabschnitt (teilweise notdürftig mit Isolierband „repariert“)
- L6 – Anschlussblock mit sechs kurzen Schläuchen (undicht oder unvollständig verbunden)
- L7 – 10-fach Ventilverteilerblock mit individuell ansteuerbaren Schläuchen, die jeweils unterschiedlich stark perforiert waren



Arbeitspaket CS11 – Quantifizierung der Leckagen

Planung: Entwicklung eines quantitativen Ansatzes zur Bewertung von Leckagen (Volumenstrom, Kosten).

Realisierung: Aufbauend auf den in CS10 gewonnenen Rohdaten wurde im Demonstrator eine erste **Quantifizierungsmethode für zwei Frequenzbereiche (25–40 kHz und 40–55 kHz)** implementiert. Dabei zeigte sich, dass sich die **gemessenen Pegel mit der Frequenz verändern** und daher frequenzabhängige Korrekturen erforderlich sind. Untersucht wurden Leckagen in einem Druckbereich von **1–10 bar** sowie in Entfernungen von **30 cm bis 12 Metern**.

Das Gerät kann auf dieser Basis – ähnlich wie bereits der **LD 500** – Leckagen quantifizieren und daraus die **jährlichen Energiekosten** zuverlässig abschätzen. Damit ist ein zentraler Nutzen für Anwender bereits verfügbar. Auch wenn die Projektlaufzeit endete, bevor alle Potenziale ausgeschöpft werden konnten, wurde das Arbeitspaket **formal abgeschlossen**, da die Kernfunktionalität implementiert und nutzbar ist. Weitere Forschungsarbeiten könnten künftig die **Nutzererfahrung** verbessern und die Genauigkeit der Quantifizierung weiter steigern.

Fazit

Das Projektziel konnte insgesamt erreicht werden. Im Verlauf der Arbeiten traten – wie bei Forschungs- und Entwicklungsprojekten dieser technologischen Komplexität üblich – einzelne technische Herausforderungen auf, die zusätzliche Entwicklungs- und Optimierungszyklen erforderlich machten. Diese Schwierigkeiten waren plausibel, führten aber nicht zu Einschränkungen beim Erreichen der Projektziele, sondern trugen im Gegenteil wesentlich zum Kompetenzaufbau und zur Weiterentwicklung der eingesetzten Methoden bei.

Mit dem funktionsfähigen Prototypen liegt ein belastbarer Technologiedemonstrator vor, der die Grundlage für die Serienüberführung bildet. Damit ist das Vorhaben insgesamt als erfolgreich und positiv zu bewerten.

2. Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Während des Projektverlaufs konnten einzelne Positionen im zahlenmäßigen Nachweis umgebucht werden. Diese Anpassungen waren erforderlich, da sich bestimmte geplante Ausgaben im Nachhinein als nicht vollständig zielführend erwiesen. Durch die gezielte Umwidmung der Mittel konnte jedoch sichergestellt werden, dass die Durchführung des Projekts im Wesentlichen der ursprünglichen Planung entsprach.

Durch die regelmäßigen online Sprint-Meetings sowie die kontinuierliche Kommunikation über MS Teams war lediglich ein Vor-Ort-Besuch notwendig beim Projektpartner. Eine zusätzliche Möglichkeit ergab sich durch die Einladung von Volvo, das System unter realen Bedingungen zu testen.

Die EMV-Prüfung konnte nicht – wie ursprünglich geplant – in zwei, sondern erst in drei Durchläufen erfolgreich abgeschlossen werden. Gleichzeitig trug die frühzeitige thermische Simulation wesentlich dazu bei, die Anzahl der erforderlichen 3D-Druck-Revisionen deutlich zu reduzieren, welche ursprünglich nicht in der Planung berücksichtigt wurde.

Insgesamt entsprach die Projektplanung in hohem Maße der tatsächlichen Durchführung.

Aufgrund der hohen Komplexität und des umfangreichen Projektumfanges hätte während der Laufzeit noch mehr Zeit in die Softwareentwicklung inklusive Testing investiert werden können. Die vorgesehenen Positionen wurden jedoch bis zum Projektende erreicht, sodass die Weiterentwicklung im Anschluss an das Projekt fortgeführt wird.

3. Bewertung der Ergebnisse in Bezug auf Nachhaltigkeit / Energieeffizienz / Klimaschutz

Das im Rahmen des Projekts entwickelte Leckageerkennungssystem entspricht direkt den in der Projektbeschreibung genannten Förderzielen in den Bereichen Nachhaltigkeit, Energieeffizienz und Klimaschutz. Wie dort beschrieben, verursachen industrielle Druckluftsysteme aufgrund von Leckagen erhebliche Energieverluste, die eine wichtige Quelle vermeidbarer Treibhausgasemissionen darstellen. Das im Rahmen dieses Projekts entwickelte mobile, einhändig bedienbare Leckageerkennungsgerät ermöglicht eine deutlich effizientere Leckageerkennung im Vergleich zu bisherigen Systemen. Die benutzerfreundliche und einfache Handhabung, die vom Projektpartner umgesetzt wurde, unterstützt die schnelle Lokalisierung und Dokumentation von Leckagen und ermöglicht so kürzere Wartungsintervalle. Das System leistet somit einen nachweisbaren Beitrag zur Reduzierung von Druckluftverlusten.

Das in der Projektbeschreibung unter Punkt I.2 geschätzte Potenzial zur Reduzierung von Druckluftverlusten und die damit verbundenen Energie- und CO₂-Einsparungen werden durch das im Projekt entwickelte mobile Leckageerkennungsgerät als technisch realisierbar bestätigt. Als praktische Lösung kann das System einen direkten Beitrag zur Umsetzung dieser Einsparziele leisten.

Die folgende Tabelle gibt einen aktuellen Überblick über die Verlustprozensätze und die damit verbundenen CO₂-Emissionen.

Jahr	Industrieller Stromverbrauch (El. Energie) / TWh	14 % Anteil für Druckluft-erzeugung / TWh	Energieverlust durch Leckagen (typ. 30 %) / TWh	Äquiv. CO ₂ -Emissionsfaktor inkl. Vorkettenemissionen in kg CO ₂ /kWh	zusätzliche CO ₂ -Belastung durch die Verluste / Mio. t
2019	229	32,06	9,62	0,473	4,55
2020	217	30,38	9,11	0,429	3,91
2021	225	31,50	9,45	0,473	4,47
2022	212	29,68	8,90	0,498	4,43
2023	201	28,14	8,44	0,445	3,76
5-Jahres-Mittel	217	30,38	9,11	0,464	4,23

Tabelle 1: Energieverluste und CO₂-Belastung in Deutschland durch Druckluftleckagen. Daten zu elektrischem Energieverbrauch und Emissionsfaktoren nach [BDEW 24]² und [UBA 24]³.

² BDEW / Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.:

Nettostromverbrauch nach Verbrauchergruppen. Online:

<https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/nettostromverbrauch-nach-verbrauchergruppen/>

³ Umweltbundesamt: Strom- und Wärmeversorgung in Zahlen. Wie viel CO₂ verursacht eine Kilowattstunde Strom im deutschen Strommix? Online:

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energieversorgung/strom-waermeversorgung-in-zahlen#Strommix>

In der Praxis sind Energieverluste durch Leckagen im Bereich von 10% bis 15% als ein realistisch erreichbarer Wert anzusehen. Bereits eine Reduktion der durchschnittlichen Leckageraten um die Hälfte (von 30% auf 15%) kann somit ein Einsparpotential von über 4,5 TWh elektrischer Energie und von über 2,1 Mio. Tonnen CO₂ jährlich aufweisen.

Basierend auf den in Abschnitt I.2 der Vorhabensbeschreibung dargelegten Berechnungen wird davon ausgegangen, dass sich durch den Einsatz der im Vorhaben entwickelten Technologie über eine Gerätelebensdauer von mindestens fünf Jahren Einsparpotenziale von insgesamt über 1.540 GWh elektrischer Energie und mehr als 747.000 Tonnen CO₂-Emissionen je Gerät realisieren lassen. Dies entspricht im Mittel einem CO₂-Einsparpotenzial von etwa 150.000 Tonnen pro Jahr pro Gerät. Diese Werte berücksichtigen ausschließlich die direkten Effekte der projektspezifischen Technologieentwicklung. Mögliche zusätzliche Einsparungen durch externe Skaleneffekte oder den Markteintritt weiterer Anbieter vergleichbarer Systeme sind hierin noch nicht enthalten.

In Summe kann durch die Projektergebnisse ein substantieller Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz in der Industrie und zur Reduktion industrieller Treibhausgasemissionen geleistet werden, was wiederum als direkter Indikator für einen verbesserten Klimaschutz gewertet werden kann

4. Bewertung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Das Projektziel wurde erreicht: Die durchgeführten Testmessungen bei Ganter Norm sowie im Rahmen der Einladung von Volvo haben gezeigt, dass das entwickelte Gerät in der praktischen Anwendung sehr zuverlässig funktioniert. Die Ergebnisse bestätigten sowohl die technische Machbarkeit als auch den hohen Nutzen für Anwender in realen Einsatzumgebungen. Damit ergänzt das Leckageerkennungssystem das bestehende Produktportfolio von CS Instruments optimal und stärkt die Position des Unternehmens im Bereich moderner und nachhaltiger Messtechnik.

Die im Projekt erbrachten Arbeiten erwiesen sich in jeder Phase als notwendig, um die gesteckten Ziele zu erreichen. Die gewählten Arbeitspakete waren inhaltlich sinnvoll, in ihrer Gesamtheit ausgewogen und vom Umfang her grundsätzlich angemessen. In einzelnen Bereichen zeigte sich sogar, dass der Aufwand im Vorfeld eher unterschätzt wurde, was die hohe Komplexität des Projekts verdeutlicht. Dennoch konnte durch die konsequente Bearbeitung aller Arbeitsschritte sichergestellt werden, dass die gesetzten Ziele vollständig erreicht wurden.

5. Voraussichtlicher Nutzen & Planungen für die nähere Zukunft

Ein besonderer Schwerpunkt der nächsten Schritte liegt auf der Optimierung der **Softwarestabilität**. Dazu werden gezielt umfangreiche Stresstests durchgeführt, die sowohl Langzeit- als auch Feldtests umfassen. Unter realen Einsatzbedingungen soll die Belastbarkeit des Gesamtsystems überprüft und mögliche Schwachstellen identifiziert werden. Durch diese systematischen Testreihen wird sichergestellt, dass die Software auch bei hoher Beanspruchung zuverlässig arbeitet und die Grundlage für eine stabile Serienversion geschaffen wird. Parallel dazu fließen die gewonnenen Erkenntnisse unmittelbar in die Feinabstimmung der Benutzeroberfläche und der internen Datenprozesse ein, sodass am Ende eine robuste und marktfähige Lösung entsteht.

Für die Überführung des Prototyps in ein Serienprodukt wurden bereits wichtige Schritte eingeleitet: So wurde ein **Spritzgusswerkzeug für das Gehäuse** beschafft, um eine kostengünstige Fertigung pro Stück zu ermöglichen. In den nächsten Phasen gilt es, **Serienlieferanten** zu qualifizieren, ein **Prüfmittel** für die Endprüfung zu entwickeln und eine vollständige **Fertigungsdokumentation** zu erstellen. Parallel dazu erfolgt die **Integration in das ERP-System**, um eine strukturierte Serienfertigung sicherzustellen, sowie die **Anbindung an die Leak Reporter Software** für eine durchgängige Datenverarbeitung. Darüber hinaus sind **umfangreiche Stabilitätstests der Software**, die **CE-Zertifizierung** sowie die Erstellung einer **Betriebsanleitung (BAL)** erforderlich. Mit diesen Maßnahmen wird die Grundlage für eine wirtschaftliche, normgerechte und qualitativ hochwertige Serienproduktion gelegt.

Ein weiteres Entwicklungsprojekt könnte ein stationäres System zur akustischen Überwachung in industriellen Fertigungsumgebungen: „Industrielle Akustische Kamera“ sein. Hierbei handelt es sich um eine festinstallierte akustische Kamera, deren Ziel die kontinuierliche Zustandsüberwachung und Qualitätssicherung auf Basis akustischer Bildgebung ist.

Das im Projekt entwickelte **UI-Konzept** sowie das **Update-Konzept** haben sich als zukunftsweisend erwiesen und sollen daher auch bei weiteren High-End-Produkten eingesetzt werden. Die Highend-Produkte basieren zukünftig auch auf einem **Embedded-Linux-Betriebssystem** und profitieren damit direkt von der plattformübergreifenden Flexibilität, der hohen Benutzerfreundlichkeit sowie den sicheren und effizienten Update-Mechanismen. Damit wird ein einheitlicher technologischer Standard geschaffen, der langfristig die Wartbarkeit, Erweiterbarkeit und Nutzerakzeptanz der gesamten Produktlinie stärkt.

6. Fortschritte bei anderen Stellen

Während des Vorhabenszeitraumes sind zwar weitere Produkte (meist chinesischer Hersteller) auf dem Markt erschienen. Diese bieten jedoch, soweit von den Datenblättern herauszulesen ist, keine technischen Innovationen, sondern sind darauf ausgelegt, Marktanteile im unteren Preissegment zu gewinnen.

7. Veröffentlichungen (erfolgt / geplant) nach Nr. 5 der NKBF/NABF

Das Produkt wurde in das offizielle Produktportfolio von CS Instruments aufgenommen und auf der Unternehmens-Homepage veröffentlicht (Stand September 2025). Die offizielle Marktvorstellung erfolgte im Rahmen der Hannover Messe ComVac 2025, die vom **31. März bis 4. April 2025** stattfand. Dort wurde das LeakCam 600 erstmals einem breiten Fachpublikum präsentiert.

Im **Mai 2025** wurde das Gerät außerdem auf dem **BuildAir-Symposium in Hannover** im Kontext eines Fachvortrags der GFal zur akustischen Lokalisierung von Gebäudeundichtigkeiten thematisiert und in diesem Rahmen kurz vorgestellt.

Ebenfalls im **Mai 2025** wurden die Projektergebnisse in einem Paper mit dem Titel „*SoC-based ultrasound system for real-time detection of pressurized gas leaks*“ wissenschaftlich eingereicht. Das Paper wurde akzeptiert und im **August 2025** auf der **InterNoise 2025** erfolgreich präsentiert.